



Väyläviraston julkaisu  
13/2020

# CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖMUUTTUJAT JA MIKROMUOVIT TIEMERKINNÖISSÄ





Harri Linnakoski, Jouni Juurikka,  
Jukka Kirjavainen, Eino-Matti Hakala

## **CO<sub>2</sub>-päästömuuttujat ja mikromuovit tiemerkinnöissä**

Väyläviraston julkaisuja 13/2020

*Kannen kuva: Ossi Saarinen*

Verkkojulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-767-3

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

puh. 029 534 3000

**Harri Linnakoski, Jouni Juurikka, Jukka Kirjavainen ja Eino-Matti Hakala: CO<sub>2</sub>-päästömuuttujat ja mikromuovit tiemerkinnässä.** Väylävirasto. Helsinki 2020. Väyläviraston julkaisuja 13/2020. 33 sivua ja 3 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-767-3.

**Avainsanat:** tiemerkinnät, CO<sub>2</sub>-päästöt, mikromuovi, julkiset hankinnat

## Tiivistelmä

Väyläviraston ympäristötoimintalinjassa on asetettu kunnianhimoiset tavoitteet väylänpidon kasvihuonekaasupäästöjen ja energiankulutuksen vähentämiselle. Väyläviraston tavoitteena on hankintatoiminnan kehittämisen avulla vähentää väylänpidon haitallisia ympäristövaikutuksia. Aiemmin on jo selvitetty hoito- ja päällystysurakoiden päästövaikutuksia ja niiden laskentamalleja. Vuosina 2018 ja 2019 on toteutettu pilottikohteita ympäristötiedon keräämiseksi päällystyshankkeissa.

Suomessa on noin 42 000 ajoratakilometriä tiestöä, jonka turvallisuutta, liikenteen sujuvuutta ja ajomukavuutta lisätään tiemerkinnöillä. Myös älyliikenne asettaa tiemerkinnöille kasvavia vaatimuksia. Tiemerkintöjen tekeminen aiheuttaa CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöjä, joiden lähteitä tässä työssä selvitettiin.

Vuonna 2018 toimivien ajoratamerkintöjen ylläpitämiseksi Suomen maanteille valmistettiin ja levitettiin noin 12 950 tonnia tiemerkintämassaa, noin 1 175 000 litraa tiemerkintämaalia sekä noin 2 300 tonnia sirotehelmiä. Tiemerkintämateriaalien levittämisen ja sitä edeltävien toimien tekemiseen kului kalustolta yli miljoona litraa polttoainetta. ELY- keskusten maanteilla oli urakkasopimusten mukaan tiemerkinnöillä ylläpidettävää tiestöä noin 38 700 ajoratakilometriä vuonna 2018. Ylläpitotöiden lisäksi uusia tiemerkintöjä tehtiin päällystyskohteilla, joita vuonna 2018 valmistui noin 2 900 ajoratakilometriä.

Tässä selvityksessä tehtyjen laskelmien pohjalta tiemerkintöjen tekeminen tuotti CO<sub>2</sub>-päästöjä vuodessa noin 15 000 tonnia eli keskimäärin noin 360 kg ajoratakilometriä kohden. Päästöistä noin 290 kg/ajoratakilometri, eli 80 %, syntyi käytetyistä materiaaleista.

Päällystysurakoissa on kahden viimeisen vuoden aikana laskettu yksittäisille päällystyskohteille päällystysaikaisia päästömääriä. Laskelmat sisältävät pääosin CEN/TC350-standardien mukaiset asfaltin elinkaaren vaiheet A1-A5. Päällysteiden käyttövaiheen päästöjä ei ole siis huomioitu laskelmissa toisin kuin tämän projektin tiemerkintöjen päästölaskelmissa, joissa niitä on huomioitu.

Projektissa tehtyjen laskelmien perusteella tiemerkintätöiden vuosittaiset päästömäärät ovat korkeintaan viidesosan päällystysurakoissa syntyneistä vuosipäästöistä.

Huomioitavaa on kuitenkin, että laskelmien lähtötiedoissa on paljon epävarmuutta, joten saatu tulos on hyvin karkea arvio. Tuloksissa on lisäksi varmasti vuosittaista vaihtelua mm. työmenetelmien ja -määrien muuttuessa.

Suomen maanteillä vuoden 2018 aikana kuluneista tiemerkinnoistä irtoava, teoreettinen enimmäismäärä mikromuovia on, laskentatavasta riippuen, noin 590 tai noin 1 620 tonnia eli noin 15 tai noin 42 kg ylläpidettyä ajoratakilometriä kohden. Tiemerkin­nän hienontumisesta syntyvien mikromuovien kulkeutumiseen vesistöihin ei otettu kantaa tässä työssä.

Tämän työn tärkeimpänä tavoitteena oli muodostaa tiemer­kintäalalle yhteinen käsitys siitä, miten päästöjä voidaan pienentää. Lisäksi saatiin arvio tiemerkin­nän­stä vuositason­lla vapautuvien päästöjen suuruusluokasta ja jakautumisesta tiemer­kintäprosessissa. Lisäksi saatiin hyvä käsitys siitä, mitä ja miten jatkotutkimuksia kannattaisi toteuttaa.

**Harri Linnakoski, Jouni Juurikka, Jukka Kirjavainen och Eino-Matti Hakala: CO<sub>2</sub>-utsläppsvariabler och mikroplaster i vägmarkeringar.** Trafikledsverket. Helsingfors 2020. Trafikledsverkets publikationer 13/2020. 33 sidor och 3 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-767-3.

## Sammanfattning

I Trafikledsverkets miljöverksamhetslinje har man ställt upp ambitiösa mål för att minska trafikledshållningens utsläpp av växthusgaser och energiförbrukning. Trafikledsverkets målsättning är att minska de negativa miljöeffekterna av trafikledshållningen genom utveckling av upphandlingsverksamheten. Utsläppseffekterna och deras beräkningsmodeller för underhålls- och beläggningsarbeten har utretts redan tidigare. Åren 2018 och 2019 har pilotmål genomförts för att samla in miljöinformation för beläggningsprojekt.

I Finland finns cirka 42 000 km vägnät, vars säkerhet, smidighet och körkomfort ökas genom vägmarkeringar. Intelligent trafik ställer också högre krav på vägmarkeringarna. Vägmarkeringar orsakar utsläpp av CO<sub>2</sub> och mikroplaster, vilkas källor undersöktes i detta arbete.

För underhåll av vägmarkeringarna producerades och spreds 2018 cirka 12 950 ton vägmarkeringsmassa, cirka 1 175 000 liter vägmarkeringsfärg och cirka 2 300 ton chipstenspärlor på Finlands vägar. För spridning av vägmarkeringsmaterialet inklusive förberedande åtgärder förbrukade fordonen över en miljon liter bränsle. Enligt entreprenadavtalen hade NTM-centralerna cirka 38 700 km vägnät med vägmarkeringar att underhålla 2018. Förutom underhållsarbete gjordes nya vägmarkeringar på beläggningsavsnitt som slutfördes på cirka 2 900 kilometer 2018.

Utifrån beräkningarna i denna rapport har vägmarkeringarna gett upphov till cirka 15 000 ton CO<sub>2</sub>-utsläpp på ett år, dvs. i genomsnitt cirka 360 kg per kilometer vägnät. Av utsläppen uppstod cirka 290 kg/kilometer vägnät, eller 80 procent, från de material som användes.

Under beläggningsarbetena de senaste två åren har man beräknat utsläppsvolymer för enskilda beläggningsavsnitt. Beräkningarna innehåller huvudsakligen asfaltlivscykelfaserna A1–A5, som överensstämmer med CEN/TC350-standarderna. Utsläppen från beläggningsarnas driftperiod redovisas därför inte i beräkningarna, i motsats till utsläppsberäkningarna för vägmarkeringarna i detta projekt, där de beaktas.

På grundval av de beräkningar som gjorts i projektet är de årliga utsläppsmängderna för vägmarkeringar högst en femtedel av de årliga utsläppen från beläggningsentreprenaderna.

Det råder dock stor osäkerhet om utdata från beräkningarna, så det resultat som erhålls är en mycket grov uppskattning. Dessutom kommer resultaten säkerligen att ha en årlig variation, bl.a. när arbetsmetoder och arbetsvolymen förändras.

---

Den teoretiska maximala mängden mikroplaster på Finlands vägar är, beroende på beräkningsmetod, cirka 590 eller cirka 1 620 ton, dvs. cirka 15 eller cirka 42 kg per kilometer vägunderhåll. I detta arbete tog man inte ställning till den fördelning av vägmarkeringsmaterial som gör att mikroplaster sprids till vattendragen.

Huvudsyftet med detta arbete var att skapa en gemensam uppfattning om hur utsläppen kan minskas inom vägmarkeringssektorn. Dessutom fick man en uppskattning på årsnivå av utsläppens storlek från vägmarkeringar och deras fördelning i vägmarkeringsprocessen. Man fick också en god uppfattning om vilka ytterligare studier som borde genomföras och på vilket sätt.



**Harri Linnakoski, Jouni Juurikka, Jukka Kirjavainen and Eino-Matti Hakala: CO<sub>2</sub> emission variables and microplastics in road markings utsläppsvariabler.** Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2020. Publications of the FTIA 13/2020. 33 pages and 3 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-767-3.

## Abstract

The Finnish Transport Infrastructure Agency's environmental policy sets ambitious goals for reducing the greenhouse gas emissions and energy consumption attributable to infrastructure maintenance. The aim of the Finnish Transport Infrastructure Agency is to reduce the adverse environmental impacts of infrastructure maintenance through the development of procurement. The emission impacts caused by maintenance and paving contracts as well as the calculation models for such impacts have already been examined previously. Between 2018 and 2019, pilot sites have been implemented in order to gather environmental data regarding paving projects.

In Finland, there are approximately 42,000 carriageway kilometres of road network on which road markings are used for enhancing the network's safety, traffic flow and driving comfort. Intelligent traffic also imposes increasing demands on road markings. The making of road markings causes CO<sub>2</sub> and microplastic emissions, the sources of which were under examination in this study.

In 2018, approximately 12,950 tonnes of road-marking mixture, approximately 1,175,000 litres of traffic paint and approximately 2,300 tonnes of drop-on beads were produced and applied to maintain functional road markings on Finnish roads. More than a million litres of fuel were consumed by the fleet when applying and preparing for the application of the road-marking materials. In 2018, according to the piecework contracts, the ELY Centres' roads had approximately 38,700 carriageway kilometres of road network with road markings to be maintained. In addition to maintenance work, new road markings were applied in paving sites, of which approximately 2,900 carriageway kilometres were completed in 2018.

Based on the calculations made in this report, the making of road markings resulted in approximately 15,000 tonnes of CO<sub>2</sub> emissions per year, i.e. an average of around 360 kg per carriageway kilometre. Approximately 290 kg/carriageway kilometre, or 80%, of the emissions were generated by the materials used.

During the past two years, emission volumes have been calculated for individual paving sites for the duration of the paving work. The calculations mainly include the asphalt lifecycle product stages A1-A5, pursuant to the CEN/TC350 standards. The emissions from the period of use of the pavings are therefore not accounted for in the calculations, in contrast to the emission calculations for the road markings in this project in which they have been taken into consideration.

Based on the calculations made in the project, the annual emission volumes caused by road-marking work are at most one-fifth of the annual emissions generated during the paving contracts.

However, there is a lot of uncertainty regarding the initial data for the calculations, so the obtained result is a very rough estimate. In addition, the results are certain to display some annual variation due, for example, to the changes in work methods and volumes.

In 2018, the theoretical maximum quantity of microplastics breaking off from the road markings on Finnish roads, depending on the method of calculation, is approximately 590 or 1,620 tonnes, i.e. approximately 15 or 42 kg per maintained carriageway kilometre. The introduction of microplastics into the waterways as a result of road markings being pulverised has not been addressed in this report.

The main objective of this work was to establish a common understanding of how emissions can be reduced in the road-marking sector. In addition, the work provided an estimate of the magnitude of annual emissions from road markings and of the distribution of emissions in the road-marking process. The work also provided a good understanding of further studies which would be worthwhile to implement as well as their implementation methods.

## Esipuhe

Valtioneuvoston keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmassa on esitetty tavoite, jonka mukaan Suomi on hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä (Ympäristöministeriö 2017). Nykyisen hallituksen hallitusohjelmassa tavoitetta on kiristetty ja tavoitteena on vähentää vuoteen 2030 mennessä ilmastopäästöjä vähintään 55 prosentilla vuoden 1990 tasosta. Vuoteen 2035 mennessä Suomen pitäisi olla hiilineutraali.

Tässä selvityksessä jatkettiin Liikenneviraston vuosina 2014–2015 toteuttamaa kehittämisprojektia, jossa selvitettiin hoidon alueurakoiden ympäristönäkökohtia. Jatkumona vuosille 2017–2020 on määritelty toimenpiteiksi kehittää energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä vaatimuksia päällystehankinnoissa (Pasanen & Miilumäki 2017; Merenheimo et. al. 2018). Tässä selvityksessä määritettiin suuruusluokkaa ja lähteitä vuoden 2018 CO<sub>2</sub>- ja mikro-muovipäästöille maanteille tehdyissä tiemerkinthankkeissa.

Tiemerkinnät lisäävät teiden turvallisuutta, liikenteen sujuvuutta ja ajomukavuutta. Lisäksi älyliikenne asettaa tiemerkinnoille kasvavia vaatimuksia. Tiemerkinnojen tekeminen aiheuttaa päästöjä, joiden lähteitä tässä työssä selvitettiin. Selvitys antoi uskoa siihen, että Väyläviraston hankintamenettelyillä pystytään vaikuttamaan myös tiemerkinnojen CO<sub>2</sub>- ja mikromuovien päästöjen vähentämiseen.

Selvityksen on laatinut Infrap Oy Väyläviraston toimeksiannosta. Infrap Oy:stä selvityksen tekemisestä ovat vastanneet Harri Linnakoski (projektipäällikkö), Jouni Juurikka, Jukka Kirjavainen ja Eino-Matti Hakala. Väylävirastosta mukana ovat olleet Ossi Saarinen (tilaajana), Marketta Hyvärinen ja Laura Valokoski. Lisäksi aineistoa ja kommentteja päästöjen vähentämismahdollisuuksista on saatu PANK Ry:n Tiemerkinntävaliokunnan jäseniltä ja heidän edustamiensa organisaatioiden henkilökunnalta.

Helsingissä maaliskuussa 2020

Väylävirasto  
Kunnossapito

# Sisällysluettelo

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	11
1 JOHDANTO .....	13
1.1 Työn tausta.....	13
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	14
1.3 Työn toteutus .....	15
2 TAUSTASELVITYKSET .....	16
2.1 CO <sub>2</sub> tiemerkinäössä.....	16
2.2 Mikromuovit tiemerkinäössä .....	17
2.3 Laskenta .....	20
3 PROJEKTIN TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELUA .....	22
3.1 Merkintämateriaalien käyttö Suomen maanteilla .....	22
3.2 Merkintämateriaalien CO <sub>2</sub> -päästöt maanteilla .....	22
3.3 Maanteiden CO <sub>2</sub> -päästöt ja päästöjen jakaumat tiemerkinäprosessissa.....	23
3.4 Merkintämateriaalien mikromuovipäästöt .....	25
4 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	27
4.1 CO <sub>2</sub> -päästömuuttujat .....	27
4.2 Mikromuovit .....	27
5 ESITYKSET PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI JA JATKOTOIMENPITEIKSI .....	29
5.1 Päästövähennystavoitteiden määrittely ja hankintojen kehittäminen ...	29
5.2 Tienpidon kehittäminen .....	29
5.3 Kuljetus- ja konekalustoa koskevien vaatimusten kehittäminen .....	30
5.4 Muita tutkimus- ja selvitystarpeita .....	30
LÄHTEET .....	32
LIITTEET	
Liite 1	Tiemerkintämateriaalin valmistajille lähetetyt kysymykset
Liite 2	Tiemerkintä palveluntuottajille ja urakoitsijoille toimitetut kysymykset
Liite 3	Sovitut poikkeamat ja käytetyt arvot laskennassa

## Lyhenteet ja määritelmät

### CO<sub>2</sub> ekv.

(myös lyhenne eg tai e) on arvo, jossa kasvihuonekaasut on muutettu vertailukaasuksi hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>).

### EPD

An Environmental Product Declaration (EPD) eli ympäristötuoteilmoitus on verifioitu ja rekisteröity asiakirja, joka välittää avoimia ja vertailukelpoisia tietoja tuotteiden elinkaaren ympäristövaikutuksista. EPD:n omaaminen ei tarkoita, että ilmoitettu tuote on ympäristöystävällisempi kuin vaihtoehdot.

### GWP

Kun kasvihuonekaasut absorboivat maan pinnalta lähtevää pitkän aallon säteilyä, se johtaa ilman lämpötilan nousuun ja aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Global Warming Potential on kehitetty mittariksi vertailemaan (suhteessa toiseen kaasuun) kunkin kasvihuonekaasun kykyä vangita lämpöä ilmakehään. Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) on valittu vertailukaasuksi taulukossa 1.

Taulukko 1. Kasvihuonekaasut muutettu vertailukaasuksi (CO<sub>2</sub>) (Brander & Davis 2012)

Kasvihuonekaasut	GWP (Global Warming potential), ilmaston lämpenemispotentiaali
Metaani (CH <sub>4</sub> )	25
Dityppioksidi (N <sub>2</sub> O)	298
Fluorihiilivedyt (HFCs)	124-14800
Perfluoratut yhdisteet (PFC <sub>s</sub> )	7390-12200
Rikkiheksafluoridi (SF <sub>6</sub> )	22800
Typpitrifluoridi (NF <sub>3</sub> )	17200

### Hiilineutraalius

Tasapainottamalla toiminnan hiilipäästöt sitomalla ilmakehästä päästöjä vastaavamäärä hiiltä

### Hiilinielu

Ovat esim. meret sekä kasvit ja muut organismit, jotka käyttävät fotosynteesiä. Fotosynteesissä hiiltä siirtyy biomassaan ilmakehästä, jossa sitä on hiilidioksidin muodossa.

### LCA

Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi. Tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ympäristövaikutusten tutkimista raaka-aineen hankinnasta tuotteen hylkäämiseen asti.

### PCR

Product Category Rules ovat asiakirjoja, jotka tarjoavat sääntöjä, vaatimuksia ja ohjeita tietyn tuoteryhmän EPD:n kehittämiseksi. Tehtyjen tiedustelujen mukaan tiemerkinäälle ei ole omaa PCR:aa tehty.

**SFS-EN 15804:2012 + A1:2013**

Eurooppalainen standardi, jossa esitetään kaikkien rakennustuotteiden ja palveluiden ympäristöselosteiden (EPD) laadinnan yleissäännöt. Se antaa rakenteen, jolla varmistetaan, että kaikki rakennustuotteiden, rakennuspalveluiden ja rakennusprosessien ympäristöselosteet on laadittu, varmennettu ja esitetty harmonisoidulla tavalla.

**Tiementäyttöa-aine**

Suomessa tiementäytössä käytetään pääsääntöisesti vesipohjaisia tiementäyttöa-aineita tai termoplastisia tiementäyttömassoja. Pääasialliset sideaineet ovat hartseja ja erilaisia polymeereja. Tiementäyttömassat kuumennetaan n. 200 °C lämpötilaan ennen massan levittämistä tielle.

**tkm (tonnikilometri)**

liikennesuorite lasketaan kertomalla keskenään kuljetettujen tavaratonniien määrä ja kuljetusetäisyys

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Tämän työn tarkoituksena on määrittää tiemerkinän kokonaispäästöt (hiilidioksidi CO<sub>2</sub> ja mikromuovit) vuositason maanteilla sekä tiemerkinätyöprosessien eri vaiheiden CO<sub>2</sub>-päästöt. Tulosten perusteella voidaan nähdä, mihin tarkempi selvitystyö ja toimenpiteet kannattaa kohdistaa. Vaikka maailmalla on määritetty joitain tiemerkinämassan CO<sub>2</sub>-päästöarvoja, Pohjoismaissa käytettävät massat ovat kylmempien olosuhteiden ja nastarenkaiden kuluttavamman vaikutuksen vuoksi hieman elastisempia kuin Etelä-Euroopassa käytettävät tuotteet. Tässä työssä arvot on laskettu ns. standardireseptillä, joka on muodostettu kirjallisuudessa olevien ja suomalaisten materiaalitointajien antamien tietojen pohjalta.

Reseptisalaisuuden takia ei ole mahdollista kerätä tietoja yleisesti standardin SFS-EN 15804+A1 kohtien A1–A3-vaiheista, kuten päällystepuolella on pääasiassa voitu tehdä.

Elinkaarivaiheet ja niihin sisältyvät informaatiomoduulit:

- Tuotevaihe, informaatiomoduulit
  - A1, raaka-aineiden hankinta ja käsittely, kierrätysmateriaalien käsittely (esim. kierrätysmateriaalien jatkoprosessointi)
  - A2, kuljetus valmistukseen
  - A3, valmistus
- Rakentamisvaihe, informaatiomoduulit
  - A4, kuljetukset työmaalle
  - A5, työmaatoiminnot
- Käyttövaihe, rakennukseen liittyvät informaatiomoduulit
  - B5, laajamittaiset korjaukset

B6–B7 käyttövaihe, rakennuksen toimintaan liittyvät informaatiomoduulit

C1–C4, rakennuksen purkuvaihe, informaatiomoduulit

D Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, informaatiomoduuli

Vuonna 1907 tehty, synteettiseen muoviin perustuva keksintö, eli polymeeri, muutti elämäämme ikuisesti sekä parempaan että huonompaan suuntaan. Muovi on yksi monipuolisimmista materiaaleista, joita koskaan on valmistettu ja joka mullisti tavan pakata, syödä, matkustaa ja pukeutua. Muoviset tuoteratkaisut leikkaavat päästöjä ja säästävät ihmisille elintärkeitä asioita, kuten aikaa, ruokaa ja vettä, jopa rahaa muihin tarpeisiin. Muoveista on kuitenkin tullut myös ympäristöongelma ns. mikromuovien kautta.

Mikromuovit (kiinteä < 5 mm hiukkanen, "partikkeli" tai kuitu) ovat synteettisiä, ja materiaali sisältää polymeeriä muiden aineiden lisäksi. Niitä voi muodostua tahattomasti suurempien muovikappaleiden kuluessa ja esimerkiksi synteettisistä tekstiileistä. Niitä valmistetaan myös tarkoituksellisesti lisättäväksi tuotteisiin tiettyä tarkoitusta varten, kuten kuoriviksi rakeiksi kasvo- tai vartalokuorinta-aineisiin. Ympäristöön päästään ne voivat kertyä eläimiin, kuten kaloihin ja äyriäisiin, ja siten kuluttajien syömään ruokaan.

EU-komissio hyväksyi joulukuussa 2015 kiertotaloutta koskevan EU:n toimintasuunnitelman (eurooppalainen muovistrategia 2015). Toimintasuunnitelmassa komissio asetti muovit keskeiselle sijalle ja sitoutui laatimaan "strategian, jossa käsitellään muoveista johtuvia haasteita koko arvoketjun aikana ja otetaan huomioon niiden koko elinkaari". Komissio vahvisti vuonna 2017 keskittyvänsä muovintuotantoon ja -käyttöön ja tekevänsä töitä sen tavoitteen saavuttamiseksi, että vuoteen 2030 mennessä kaikki muovipakkaukset ovat kierrätettäviä. Parhaillaan kehitetään myös vaihtoehtoisia raaka-aineita (esim. biopohjaiset muovit sekä hiilidioksidista tai metaanista tuotetut muovit), joilla on samat käyttöominaisuudet kuin perinteisillä muoveilla, mutta mahdollisesti vähäisemmät ympäristövaikutukset. (Muoviteollisuus ry. 2019)

Tässä työssä potentiaaliset mikromuovit laskettiin kahdella eri tavalla, koska ei saatu aivan selkeää varmuutta, onko hienontunut hartsi (tiemerkintämateriaalin sideaine) luettavissa myös mikromuoviksi. Aikaisemmissa tutkimuksissa on esitetty, että potentiaalisia mikromuoveja on tiemerkintämassassa n. 0,5–2 painoprosenttia. Jos kuitenkin hartsit ja muut polymeerit (esim. SIS) lasketaan mukaan, saadaan mikromuovipotentiaaleiksi n. 18–22 painoprosenttia tiemerkintämassassa.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena oli määrittää maanteille tehtävien tiemerkintöjen vuosittaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja levitettyjen tiemerkintämateriaalien hioutumisesta syntyvät mikromuovimäärät. CO<sub>2</sub>-päästöt pyritään jakamaan osiin:

- ylläpitotyöt
- uudet merkinnät
- massat
- maalit.

CO<sub>2</sub>-päästöt jaotellaan tiemerkintäprosessin eri vaiheisiin, jotta saadaan käsitys, mihin jatkokäytöskentelyssä kannattaa kiinnittää huomiota. Tässä työssä päästömääriä on tarkasteltu seuraavissa vaiheissa:

- tiemerkintämateriaalit
- etumerkinnät
- jysinnät
- liuostus
- pienmerkinnät
- uudet tiemerkinnät
- ylläpitomerkinnät.

Selvitystyö toteutettiin standardin SFS-EN 15804+A1 mukaisesti vaiheiden A1–A5 osalta.

Ylläpitotyöt ovat standardin SFS-EN 15978:2011 mukaan käyttövaiheen kunnossapitoa B5. Tässä työssä haluttiin tarkastella tiemerkinnän vuositason aiheuttamia CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöjä, joten ylläpitomerkinnät ovat mukana selvityksessä.



Uusiopäällystystyön yhteydessä merkinnät poistuvat, joten tässä työssä ei käsitelty uusiopäällystystyön yhteydessä tiemerkinnoista vapautuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä. Työssä ei oteta myöskään kantaa tiemerkinnojen elinkaareen, jolla on suuri vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöjen syntyyn. Jos elinkaari huomioitaisiin, tulisi päästöt laskea pidemmältä aikajaksolta (päällysteen elinikä tieluokittain) ja laskea niistä keskiarvo vuositasolle.

Tiemerkintämateriaalien mikromuovimäärät, ovat teoreettisia maksimimääriä tuotteissa eli potentiaaleja, jos kaikki hioutuisivat mikromuoveiksi. Työssä laskettiin vain ylläpidon materiaalimäärien mukaan mahdollisesti syntyneet mikromuovimäärät eli tiemerkinnojen teoreettinen mikromuovipäästön maksimimäärä. Mikromuovien kulkeutumista ympäristöön ei tässä työssä selvitetty.

## 1.3 Työn toteutus

Taustaselvitys toteutettiin haastattelemalla PANK ry:n tiemerkinntävaliokunnassa olevien organisaatioiden edustajia, CO<sub>2</sub>- ja mikromuovitutkimusten kanssa työskenteleviä henkilöitä, aiempien päällystyksen päästöselvityksen tekijöitä, keskustelemalla CO<sub>2</sub>-päästöjä laskevien ja ympäristölupia myöntävien tahojen kanssa, haastattelemalla raaka-ainetoimittajia sekä hyödyntämällä tietoja julkisesti saatavilla olevista selvityksistä.

Taustaselvitystä on tarkemmin selvitetty luvussa 2.

Itse laskennassa apuna käytettiin mm. VTT:n Lipasto (Suomen liikenteen päästöjen laskenta) -järjestelmästä, energiateollisuudelta ja julkisesti löytyviä GWP (Global Warming Potential) -arvoja (liite 3).

Taustaselvityksen aikana saatujen tietojen, tiemerkinntäurakoitsijoiden lähettämien vuoden 2018 tiemerkinntätöiden toteumien sekä työn tilaajan järjestelmistä saatujen tiestötietojen ja vuoden 2018 päällystystietojen pohjalta laskettiin CO<sub>2</sub>-päästöt tiemerkinntätöiden eri vaiheille perustuen standardiin SFS-EN 15804+A1. Työssä ei laskettu edellä mainitun standardin mukaisesti elinkaarta vaan työn tavoitteena oli saada vuoden 2018 tietojen pohjalta tiemerkinntöjen CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöt vuositasolla.

Joitain arvoja on jouduttu arvioimaan selvityksen tilaajan ja toteuttajan yhteistyönä saadun tiedon pohjalta (liite 3), jotta on päästy eteenpäin määrittäessä tiemerkinntöjen vuotuisten CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöjen potentiaaleja.

Lähtötietojen saamisesta, sovitusti käytetyistä arvoista ja itse laskennasta on kerrottu tarkemmin luvuissa 2.1, 2.2 ja 2.3

## 2 Taustaselvitykset

### 2.1 CO<sub>2</sub> tiemerkinnessä

Työn tausta-aineiston saamiseksi on haastateltu ja saatu aineistoa mm. seuraavilta henkilöiltä ja organisaatioilta: Ossi Saarinen Väylävirasto, Heikki Jämsä INFRA ry, Antti Lyytinen Skanska Industrial Solutions, Juhani Laurikko VTT, Vesa Korjula energiateollisuus ry, Lars Forsten YIT, Marketta Hyvärinen Väylävirasto, Sara Väänänen PANK ry Ympäristövaliokunta, Juha Laurila INFRA ry; Laura Sariola Rakennustieto, Tiia Merenheimo Motiva, PANK ry tiemerkintävaliokunta, Petri Korhonen Asfalttikallio, Nella Baerents Kraton Chemical B.V., Teresa Lindholm Sibelco Nordic Oy Ab ja Jenni Heikkilä Suomen tasolasiyhdistys ry.

A1–A3 tuotevaiheen selvityksissä ovat avustaneet tiemerkintämateriaalien valmistajat Suomessa ja tiemerkintämerkkimateriaalien raaka-ainetoimittajat maailmalla. Lisäksi on tehty kirjallisuusselvityksiä julkisesti saatavilla olevista lähteistä.

Suomalaisille tiemerkintöjen materiaalivalmistajille toimitettiin viimeisimmän tiedon varmistamiseksi kysely, jossa esitettiin tutkimusta varten liitteen 1 mukaiset kysymykset.

Materiaalivalmistajat eivät saaneet tietoja raaka-aineiden GWP-tiedoista suurimmalta osalta toimittajistaan. Ainoastaan materiaalitoimittaja Kraton Chemical B. W toimitti tiedon luonnonhartsin arvoista ja Sibelco Nordic Oy Ab runkoaineista. Kraton Chemical B. W:n edustajat totesivat, että heillä selvitystyö on vasta alussa monen tuotteen osalta. Nähtävästi raaka-aineiden GWP selvitykset ovat vasta käynnistymässä maailmalla.

A1–A3 vaiheen laskentaan sovittiin seuraavia tarkennuksia:

- Laskennan kohteeksi otettiin vuoden 2018 maanteille tehtävien tiemerkintöjen materiaalit ja niiden valmistaminen
- Ulkomaalaisten raaka-aineiden toimitus tehtaalle lasketaan Suomen satamasta tehtaalle.
- Raaka-ainerahdeille ei lasketa paluuta, koska ei ole tietoa mahdollisista paluukuljetuksista.

Raaka-aineiden CO<sub>2</sub>-päästöarvoja A1-vaiheessa:

Vain kaksi raaka-ainetoimittajaa antoi tietoa tutkimuksessa mukana oleville tuotevalmistajille ja/tai selvitystyön tekijälle. Kunkin raaka-aineen osalta on selvitys kirjallisuusviitteissä, joista saatujen tietojen perusteella on tässä työssä sovittu käytettäväksi laskennoissa taulukon 2 arvoja.

Taulukko 2. Raaka-aineiden CO<sub>2</sub>-päästöarvoja

Raaka-aine	kgCO <sub>2</sub> ekv/t	Arvio/tieto ja lähde
C5 hiilivetyharts	3500	arvio (Cashman et. al. 2015)
Luonnon harts (RE)	-1395	Kraton Chemical B.V.
Polymeerit (SIS, PE, EVA, PA)	3000	arvio (Vink & Davis 2015)
TiO <sub>2</sub>	5300	tieto (TDMA members 2013)
CaCO <sub>3</sub>	3	Arvio (Kittipongvises 2017)
Kvartsi	25	Sibelco Nordic Oy Ab
Lasihelmi	700	arvio (Usbeck et. al. 2010), (FEVE 2010)

Raaka-aineiden rahdit (vaiheessa A2) on laskettu raaka-aineen toimittajan osoitteesta tiemerkinämastehtaalle tai ainoastaan satamasta tehtaalle VTT:n Lipaston antamalla CO<sub>2</sub>ekv arvoilla (30 tai 38 g/tkm) (Lipasto 2017), jotka kuvaavat 40 tonnin ja 25 tonnin maksimikuormaa kantavien rekkujen päästöjä. Laskennat on tehty käyttäen täysien rekkujen arvoja.

A3-vaiheen laskennassa sähkön CO<sub>2</sub>-päästökertoimenä on käytetty energia-teollisuus ry:n (V. Korjula) ilmoittamaa energiamenetelmän mukaista arvoa 105 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Energiateollisuus ry 2019).

Tiemerkintämateriaalin valmistajat ilmoittivat tehtaiden keskimääräisen tiemerkin-tämateriaalin valmistamiseen käytetyn energiamäärän (kWh/t).

A4–A5 rakentamis- ja B5 korjausvaiheen selvityksissä selvitystyön tekijää ovat auttaneet suomalaiset tiemerkin-täurakoitsijat, joilta kysyttiin selvitystyötä var-ten liitteen 2 mukaiset kysymykset.

Laskentoihin tehtiin seuraavia tarkennuksia PANK ry:n tiemerkin-tävaliokunnan kokouksessa:

- laskennan kohteeksi otettiin vuoden 2018 maanteille tehtävät tiemerkin-tätyöt
- aineisto koskee vain maanteille tehtäviä merkintöjä
- tuoterahdeille ei lasketa paluukuljetuksia.

Urakointikaluston polttoaineiden kulutuksen laskennassa on tiemerkin-täurakoitsijoilta saadun tiedon pohjalta käytetty arvona VTT:n Lipaston tietoa fossii-liselle dieselille 2,66 kgCO<sub>2</sub>/l (Lipasto 2017).

Rahtikilometrien kulutuksen arvona on laskettu puoliperävaunun (25 tonnin lasti) VTT:n Lipaston tietoa 38 g CO<sub>2</sub>ekv/tkm (tonnikilometri) (Lipasto 2017).

## 2.2 Mikromuovit tiemerkin-näissä

Aineiston saamiseksi on haastateltu ja saatu aineistoa mm. Laura Valokoskelta Väylävirastosta, Samuel Hartikaiselta Itä-Suomen yliopistosta sekä Peter Coe-nenilta TNO:sta Hollannista.

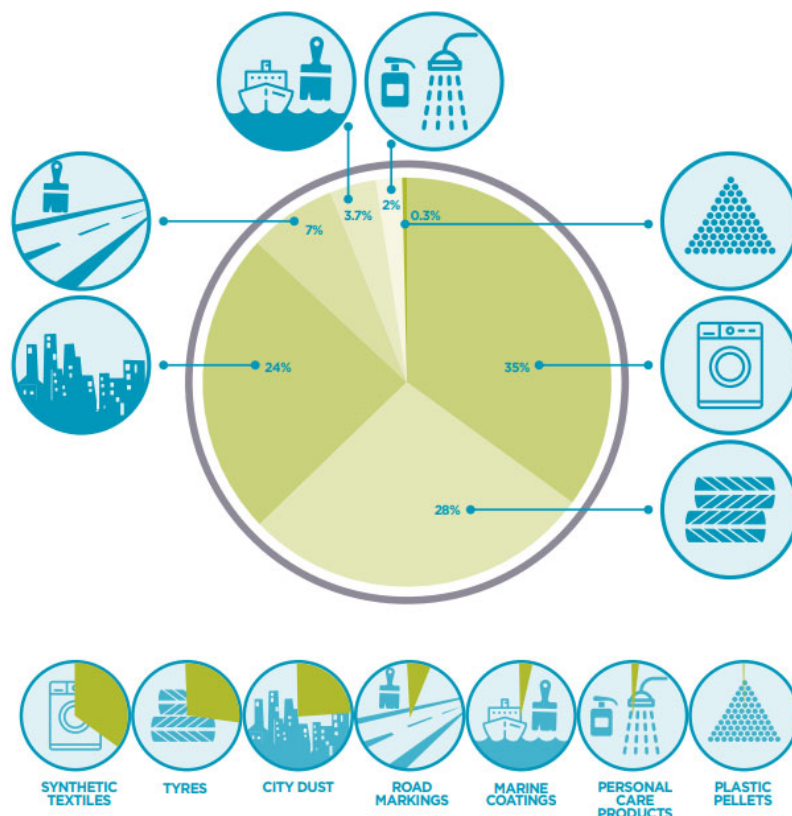
Tiimerkinnöissä olevat polymeerit ovat potentiaalisia mikromuovin lähteitä, jotka vasta hienontuessaan ovat mikromuoveja. Tiemerkitämateriaalit sisältävät jonkin verran muovia ja kumia, jotka renkaiden ja hiekoitushiekan hiertämänä muuttuvat mikromuoveiksi ja voivat hulevesien mukana joutua vesistöihin. Mikromuovien osuutta tiemerkinnoissa on nostettu esille useissa kansainvälisissä selvityksissä. (Jannö 2016 CEDR eurooppalaisten kansallisten tiehallintojen organisaatio 2019; Boucher & Friot 2017; ECHA 2019).

Tässä selvityksessä jäi epäselväksi, ovatko termoplastisen merkitämässän raaka-aineet luonnon (RE)- ja C5- hiilivetyhartsit potentiaalisia mikromuovilähteitä. Monen haastatellun mielestä mitään virallista määritelmää mikromuoville ei ole olemassa, sillä muovimateriaalien kirjo on valtava. Tästä syystä määritelmä on helpompaa pitää sopivan väljänä (Hartikainen 2018).

Kansainvälinen luonnonsuojeluliitto IUCN on arvioinut, että 7 % valtameriin päätyvistä mikromuoveista olisi lähtöisin tiemerkinnoista (kuva 1).

## GLOBAL RELEASES OF PRIMARY MICROPLASTICS TO THE WORLD OCEANS

BY SOURCE (IN %).



Kuva 1. *IUCN Primary Microplastics in the Oceans (a Global Evaluation of Sources)* (Boucher & Friot 2017).

Eurooppalaisten tiehallintojen yhteistyöorganisaatio CEDR (Conference of European Directors of Roads) on toteuttanut tiehulevesien laatua käsittelevän tutkimuskokonaisuuden, josta yksi osa käsittelee tiehulevesien orgaanisia epäpuhtauksia ja mikromuoveja (CEDR eurooppalaisten kansallisten tiehallintojen organisaatio 2019).

CEDRin alustavan selvityksen mukaan ei tiedetä, mitkä ja kuinka tietyt orgaaniset pienhiukkaset ja yhdisteet ja mikromuovit siirtyvät teiltä vesistöihin, mitä ympäristöriskejä nämä aineet voivat aiheuttaa, millä pitoisuuksilla nämä riskit esiintyvät ja mikä on paras tapa käsitellä näitä mikroaineita. Tietämys ja saatavilla oleva kirjallisuus tieosien hiukkasista, metalleista, tien suolasta ja ravinteista ovat melko laajoja, kun taas kirjallisuus ja tiedot muista mahdollisesti vaarallisista epäpuhtauksista (erityisesti orgaanisista pienhiukkasista ja mikromuovista) ovat rajalliset. Näiden aineiden tuntemuksen lisääminen on kuitenkin välttämätöntä vesistöjen suojaamiseksi pilaantumiselta. (CEDR tehdyt tutkimukset 2018)

CEDRin hankkeessa on tehty laaja kirjallisuuskatsaus päästöjen lähteistä ja kemiallisesta koostumuksesta. Tutkimuksessa todetaan, että renkaat, mutta myös tiemerkinnät, jarrut ja asfaltti ovat mikromuovien lähteitä. Renkaista tulee suurimmat määrät mikromuovia, kun taas tiestä aiheutuvat mikromuovipäästöt (tiemerkinnät ja asfaltti) ovat kertaluokkaa pienemmät kuin renkaiden mikromuovipäästöt.

Maali- ja massamerkintämateriaalit koostuvat osin polymeereistä, ja sen vuoksi kulumistuotteita pidetään mikromuoveina. Kun käytetään hartsia tai polymeerejä, jotka ovat luonnollista tai biogeenistä alkuperää, vapautuneita kulutushiukkasia pidetään myös mikromuovina, koska niillä on samat ominaisuudet mikroplastisena kuin ei-biogeenisillä hartsikomponenteilla. Eri tiemerkintöjen kestävyys vaihtelee ja kuluminen riippuu liikenneolosuhteista.

Liikennetiheys, ilmasto- ja tienhoito-olosuhteet (esim. lumiaura) vaikuttavat tiemerkintöihin. Siksi tiemerkintöjen tyyppi vaihtelee maittain Euroopassa. Tiemerkintöjen hiukkasten pitoisuuksia valumavesissä ei ole mitattu useimmissa tutkimuksissa. Horton (2017) mittasi mikromuovien pitoisuudet Thames-joesta ja yhdessä paikassa havaittiin merkkejä tiemerkintämassasta. (CEDR tehdyt tutkimukset 2018)

CEDRin hankkeesta on julkaistu raportti saatavilla olevista mittaustuloksista orgaanisten pienhiukkasten, mikromuovien ja niihin liittyvien aineiden määristä tiehulevesissä.

Eri maissa käytetään hieman erilaisia tiemerkintämateriaaleja ja niillä on merkitystä valumavesien epäpuhtauksiin, vaikkakaan tätä ei ole kovin hyvin selvitetty. (CEDR tehdyt tutkimukset 2018)

Yhteenvetona kahdesta edellisestä CEDR Call selvityksestä voidaan todeta, että teiden ja liikenteen mikromuovit vapautuvat renkaista, jarruista, ajoneuvon osista, asfaltista ja tiemerkinnöistä. Renkaiden mikromuovien keskimääräinen päästökerroin on 90–270 mg/ajoneuvokilometri, kun asfaltilla ja tiemerkinnöillä päästökertoimet ovat 0,2–15,3 mg/ajoneuvokilometri. (CEDR tehdyt tutkimukset 2018)

## 2.3 Laskenta

Laskenta on toteutettu standardien SFS-EN 15804+A1 ja SFS-EN15978 mukaisesti, joskin on jouduttu tekemään oletuksia, jotta työssä on edetty. Näistä oletuksista on luettelo liitteessä 3. Päällystyspuolella käytetyistä laskentaohjelmista ei ollut hyötyä tässä tutkimuksessa, koska ohjelmia ei ole kehitetty tiemerkintöjen päästölaskentoihin, eivätkä tähän mennessä tehdyt määrittelyt ole olleet oikein Suomen olosuhteisiin sopivia.

Laskennassa saatuja lähtötietoja on kuvattu jo aiemmin kohdassa 2.1. Laskettiin tiemerkintämassojen CO<sub>2</sub>-päästöt suomalaisten materiaalivalmistajien ilmoitusten pohjalta vaiheissa A1–A3 ja ulkomaiset massat laskettiin samalla standardireseptipohjalla tilaajan kanssa sovitulla tavalla (liite 3).

Tiemerkintämaalissa on käytetty valmistajan kanssa sovitusti suomalaisen materiaalityöimittajan EPD:ssä olevaa ulkomaalien GWP-arvoa 2,1 kg CO<sub>2ekv</sub>/l (Rakennustieto 2019).

Vaiheet A3–A5 laskettiin tiemerkintäurakoitsijoilta saatujen tiemerkintämassa-, -maali- ja sirotehalmimäärien sekä polttoaineen kulutustietojen ja ulkopuolisten rahtitietojen pohjalta.

Esitetyissä tuloksissa on yhdistetty kaikkien 10 tiemerkintäpalvelusopimusalueen laskelmat ja ajoratakilometrikohdaiset tulokset on laskettu palvelusopimuksista saatujen määrätietojen perusteella.

Etumerkinnässä on käytetty vesipohjaisen maalin GWP-arvoja ja liuostusmateriaalissa päällistysksen selvityksissä käytetyn EKA-laskentaohjelman liuostimelle antamaa arvoa.

Seuraavat laskennat on tehty standardin SFS-EN 15804+A1 mukaisesti, mutta tulokset on esitetty CO<sub>2ekv</sub>- ja mikromuovipäästöinä vuotta 2018 kohden.

### A1 raaka-aineiden hankinta ja käsittely, kierrätysmateriaalien käsittely

Merkintämassan raaka-aineiden osuus merkintämassasta (kg CO<sub>2ekv</sub>/tonni massaa) laskettiin painotettuna prosenttiosuutena raaka-aineista saatujen, julkisesti löytyvien ja yhdessä työn tilaajan kanssa arvioitujen GWP-arvojen pohjalta. Tiemerkintämassoissa käytetään sekä luonnonhartseja (Rosin Ester) että C5-hiilivetyhartseja joko yksin tai sekoitteena (liite 3). Tässä työssä käytettiin suomalaisilta tiemerkintämassavalmistajilta saatuja tietoja ja ulkomaisten tiemerkintämassojen osalta tässä työssä sovittua RE/C5-hartsisuhdetta laskennassa. Lisäksi suomalaisten massojen laskennassa huomioitiin valmistajien erilaisia sekoitelasihelmien osuuksia materiaaleissa. (kohdassa 2.1 Liite 3)

### A2 kuljetus valmistukseen

A2-vaihe sisältää tiemerkintäraaka-aineen kuljetuksen satamasta tai Suomessa sijaitsevasta tuotantolaitoksesta tiemerkintämassaa valmistavalle tehtaalte. Tiedot käytettävästä kuljetuskaluston koosta on saatu tiemerkintämateriaalin valmistajilta ja laskennassa on käytetty Lipasto-järjestelmän yksikköpäästötietokannan antamia arvoja 38 g/tkm (25 t kuorma) tai 30 g/tkm (40 t kuorma), joilla on saatu jokaisen valmistajan A2-vaiheen CO<sub>2</sub>-päästöt. Autojen paluukuljetuksia ei ole laskettu, koska ei ole tiedetty, palaako auto tyhjiillään vai onko paluukuormia.

### A3 valmistus

Suomalaisten tiemerkintämateriaalivalmistajien antamien sähkön kulutustietojen (kWh/tonni) pohjalta on laskettu tiemerkintämassan valmistusvaiheen CO<sub>2ekv</sub>-päästöt, Energiateollisuus ry:n antamalla keskimääräisellä 105 kgCO<sub>2</sub>/MWh-arvolla. Laskelmassa on huomioitu sekoituksesta aiheutuva energian kulutus, mutta ei esim. materiaalin siirtelystä aiheutuvia kuluja. (Energiateollisuus ry 2019)

### A4-A5 kuljetukset työmaalle ja työmaatoiminnot

Tiemerkintämateriaalien kuljetukset satamasta tai materiaalitoimittajalta urakoitsijoiden toimipisteeseen sisältyvät joidenkin urakoitsijoiden kohdalta tähän osaan laskelmaa. Kuljetus on laskettu vain täydellä kuormalla (ei paluuta tyhjänä). Toiset urakoitsijat ovat osittain käyttäneet ulkopuolista rahtia kuljettaessaan tuotteet tukikohdastaan työmaalle ja toiset taas kuljettaneet kaiken omalla kalustolla. Kaikkien urakoitsijoiden polttoaineiden kulutus on vuoden 2018 yhteiskulutus, jonka he ovat pyrkineet jakamaan eri tuotekategorioihin. Eli polttoaineen kulutustiedot sisältävät mm. materiaalien kuljetusta kohteelle, materiaalin lämmitystä (merkintämassa), materiaalin levittämistä ja ajoa etsimällä kuivia levityskohteita.

Laskennassa on tiemerkintäpalvelusopimus- (TMPS) kohtaisesti laskettu työvaiheiden CO<sub>2</sub>-päästöt ajoratakilometriä kohden (CO<sub>2ekv</sub>/ajr-km) ja muutettu ne koko maata koskevaksi painotettujen keskiarvojen kautta.

### B5 laajamittaiset korjaukset

Standardin SFS-EN 15804+A1 ja SFS-EN 15978:2012 mukaan ylläpitomerkinnät kuuluvat kategoriaan B5, laajamittaiset korjaukset. Tässä työssä haluttiin tietää CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöt vuositasolla tiemerkintäprosessissa. Tiemerkintää korjaavat ylläpitomerkinnät on laskettu kuten A4-A5 vaiheet.

### Mikromuovit

Mikromuovit on laskettu materiaalien ylläpidon vuosikulutuksista ylläpidetyille kohteille, koska se kuvaa kaikkein tarkimmin maantieverkolta kulunutta, todennäköisesti mikromuoviksi hioutunutta tiemerkintämateriaalia. Päälystyskohteiden kulumia ei lähdetty arvioimaan edes keskiarvokulumisen kautta. Tiemerkintämassan arvot laskettiin kahdella eri mikromuovipotentiaalilla, koska hartsin lukeutumisesta potentiaalisesti mikromuoviksi on selvitysten pohjalta eriäviä ja epäselviä mielipiteitä.

Tiemerkintämaalissa sideaine on laskettu potentiaalisesti mikromuoviksi.

Mikromuovit laskettiin koko ylläpidetylle tieosuudelle, eikä aineistosta pystytty selvittämään tieluokkakohdaisia kilometripäästöjä, jotka saattavat vaihdella suuresti.

## 3 Projektin tulokset ja tulosten tarkastelua

### 3.1 Merkintämateriaalien käyttö Suomen maanteilla

Viiden urakoitsijan antamien tietojen perusteella laskettiin tiemerkintämateriaalimäärät, jotka levitettiin maanteille vuonna 2018. ELY-kohtaisten tiemerkintöjen sopimuskohtaisten ylläpitomäärien (ajr/km) ja päällystysmäärien perusteella laskettiin materiaalien käyttö ajoratakilometriä kohden Suomessa keskimäärin.

Taulukosta 3 nähdään, että tiemerkintämassoja Suomessa käytettiin yhteensä noin 12 950 tonnia. Muihin Pohjoismaihin verrattaessa Norjassa on käytetty vuonna 2014 n. 12 500 t ja Ruotsissa n. 19 700 t.

Maaleja käytettiin yhteensä 1 175 000 litraa eli 1 900 tonnia. Muihin Pohjoismaihin verrattaessa Norjassa on vuonna 2014 käytetty 1 100 t, Ruotsissa 1 700 t (SVMF höstmöte 2019).

Taulukko 3. Merkintämateriaalien käyttö Suomen maanteilla.

	Materiaalikulutus (kg/l)	sirotehelmet kg	Työn pituus ajr-km	Materiaalikulutus kg(l) / ajr-km	sirotehelmet kg/ajr-km
<b>Tiemerkintätoimet maanteilla 2018</b>					
Pituussuuntaiset massamerkinnot uusille kohteille	5 457 000	467 000	2 500	2 200	187
Pituussuuntaiset maalimerkinnot uusille kohteille	54 000	10 500	600	90	18
Pituussuuntaiset massamerkinnot ylläpidettävät kohteet	6 754 000	1 194 800	14 200	480	84
Pituussuuntaiset maalimerkinnot ylläpidettävät kohteet	1 110 000	578 600	24 500	45	24
Etumerkinnot (uudet+ylläpidettävät)	10 000		41 600		
Pienmerkinnot (uudet+ylläpidettävät)	741 000	21 000	41 600	18	1
Jyrsinnät			2 400		
liuostus	84 000		2 000	42	
<b>Yhteensä</b>	<b>14 210 000</b>	<b>2 271 900</b>	<b>41 634</b>	<b>341</b>	<b>55</b>

### 3.2 Merkintämateriaalien CO<sub>2</sub>-päästöt maanteilla

CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2018 pelkissä materiaaleissa olivat pituussuuntaisilla massamerkinnoilla 8 700 tonnia, mikä on noin 525 kg CO<sub>2</sub>/ajorata-km kohden ja maalimerkinnoissa 2 900 tonnia, mikä on noin 115 kgCO<sub>2</sub>/ajorata-km kohden.

Muita laskennassa saatuja materiaalipäästötietoja on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Merkintämateriaalien CO<sub>2</sub>-päästöt Suomen maanteilla.

	materiaalipäästöt (t CO <sub>2</sub> )	materiaalipäästöt (kg CO <sub>2</sub> /ajr-km)
<b>Tiemerkintätoimet maanteilla 2018</b>		
Pituussuuntaiset massamerkinnot uusille kohteille	3 690	1 510
Pituussuuntaiset maalimerkinnot uusille kohteille	120	220
Pituussuuntaiset massamerkinnot ylläpidettävät kohteet	5 000	350
Pituussuuntaiset maalimerkinnot ylläpidettävät kohteet	2 740	110
Etumerkinnot (uudet+ylläpidettävät)	20	
Pienmerkinnot (uudet+ylläpidettävät)	470	10
liuostus	10	10
<b>Yhteensä</b>	<b>12 050</b>	<b>289</b>



### 3.3 Maanteiden CO<sub>2</sub>-päästöt ja päästöjen jakaumat tiemerkintäprosessissa

Suomessa koko tiemerkintäprosessin CO<sub>2</sub>-päästöt olivat vuonna 2018 noin 15 000 tonnia, mikä on 360 kg CO<sub>2</sub> ajorata-km kohden.

Materiaalien osuus tästä CO<sub>2</sub>-päästöstä oli noin 12 000 tonnia eli 290 kg CO<sub>2</sub> ajorata-km kohden, joten niiden osuus on tämän selvityksen perusteella selvästi merkittävin eli n. 81 prosenttia (kuva 2).

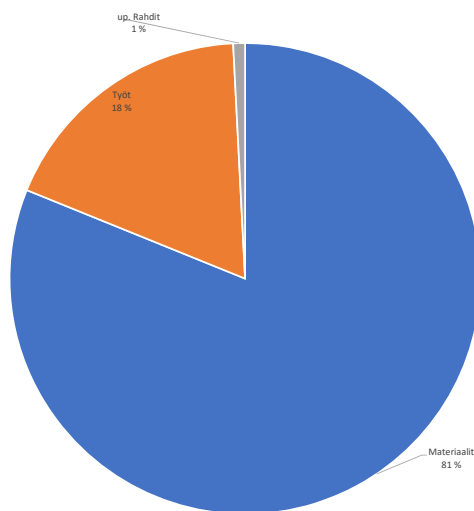
Ylläpidon pituussuuntaisten merkintöjen päästöt ovat 62 % ja päällystyskohteiden pituussuuntaisten merkintöjen osuus on 30 % kokonaispäästöistä (kuva 4).

*Taulukko 5. Tiemerkintätyön ja materiaalien CO<sub>2ekv</sub> päästöt maanteilla jakautuivat seuraavasti.*

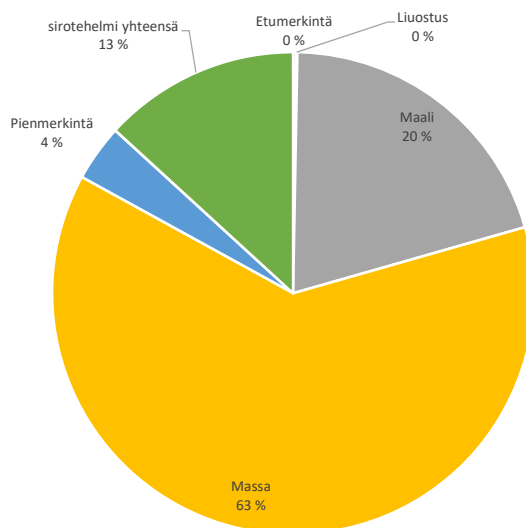
Tiemerkintätoimet maanteilla 2018	päästöt (t CO <sub>2</sub> )	päästöt (kg CO <sub>2</sub> /ajr-km)
Tiemerkintämateriaalit	12 050	290
Etumerkintätyö	130	3
Jyrsintä työ	230	96
Liuostustyö	40	20
Pienmerkintätyö	170	4
Pituussuuntaisen viivamerkinnyt työ uudet kohteet	680	230
Pituussuuntaiset ylläpitomerkinnyt työ	1 440	60
Ulkopuoliset rahat	130	3
<b>Yhteensä</b>	<b>14 860</b>	<b>357</b>

*Taulukko 6. Eri tiemerkintätyypeissä CO<sub>2ekv</sub> päästöt maanteilla jakautuivat seuraavasti.*

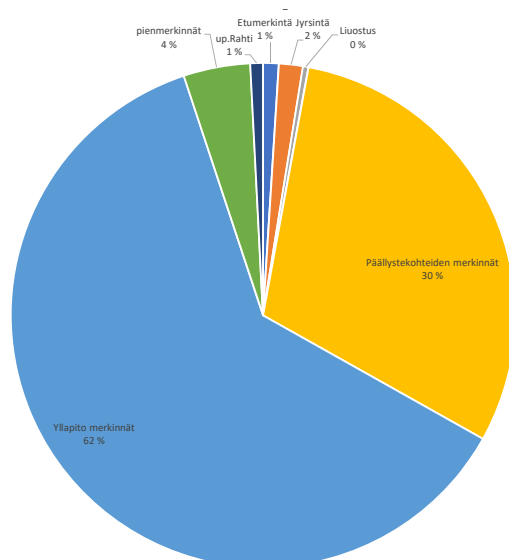
Tiemerkintätoimet maanteilla 2018	päästöt (t CO <sub>2</sub> )	päästöt (kg CO <sub>2</sub> /ajr-km)
Pituussuuntaiset massamerkinnyt uusille kohteille	4 400	1 790
Pituussuuntaiset maalimerkinnyt uusille kohteille	140	260
Pituussuuntaiset massamerkinnyt ylläpidettävät kohteet	6 090	430
Pituussuuntaiset maalimerkinnyt ylläpidettävät kohteet	3 160	130
Etumerkinnyt (uudet+ylläpidettävät)	150	4
Pienmerkinnyt (uudet+ylläpidettävät)	640	15
Jyrsinnät	230	95
liuostus	50	27
<b>Yhteensä</b>	<b>14 860</b>	<b>357</b>



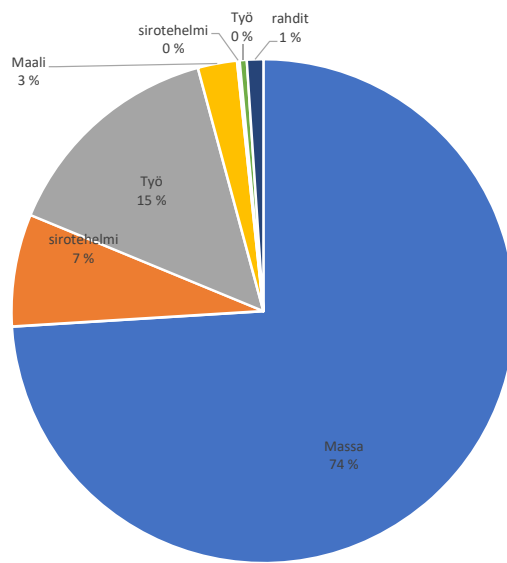
Kuva 2.  
Tiemarkintöjen CO<sub>2</sub>-päästöjen  
jakauma vuonna 2018.



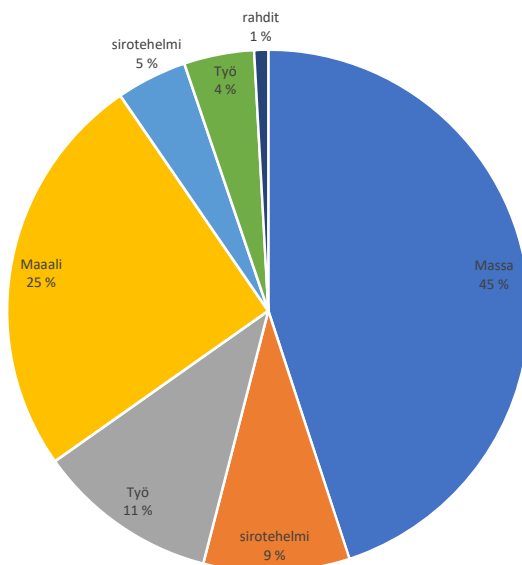
Kuva 3.  
Tiemarkintämateriaalien  
CO<sub>2</sub>-päästöjen jakauma  
vuonna 2018.



Kuva 4.  
Tiemarkintöjen CO<sub>2</sub>-päästöjen  
jakautuminen tiemarkintä-  
prosessissa.



Kuva 5.  
Päällystyskohteiden  
tiemerkintöjen  
CO<sub>2</sub>-päästöjen jakautuminen.



Kuva 6.  
Ylläpitokohteiden  
tiemerkintöjen  
CO<sub>2</sub>-päästöjen jakautuminen.

### 3.4 Merkintämateriaalien mikromuovipäästöt

Tiemerkintämateriaaleista hioutuneet mikromuovimäärät laskettiin ylläpidossa 2018 käytetyistä materiaalmäärästä. Tiemerkintämassoilla laskelmat tehtiin ilman hartsin osuutta 4 painoprosentin mukaan ja hartsin kanssa laskettiin 19 painoprosentin mukaan tiemerkintämassasta.

Neljään prosenttiin perustuvassa laskelmassa otettiin mukaan myös SIS-polymeeri, mitä ei aiemmissa tutkimuksissa (Jannö 2016) ole laskettu potentiaalisesti mikromuoviksi. Maaleilla laskettiin mukaan myös sideaine 18 painoprosenttiin mukaan.

Ylläpitotiemerkinnöissä käytettiin tiemerkintämassoja noin 6 750 tonnia ja maalia 1 750 tonnia vuoden aikana. Nämä ylläpidettävät määrät ovat kuluneet aiemmin valmistuneista merkinnöistä, joten laskettaessa mikromuovimääriä on ylläpidon merkintämääriä käytetty lähtötietoina.

Tiemerkintämassoista on siten syntynyt mikromuovia aiemmin kerrotuilla kahdella eri laskentatavalla noin 270 tai noin 1 300 tonnia riippuen kumpaa mikromuovimääritelmää laskennassa käytetään. Maaleista on syntynyt mikromuoveja noin 320 tonnia vuonna 2018 tiemerkinnöin ylläpidetyillä teillä. Nämä muutettuna ylläpidetyille ajoratakilometreille saadaan keskiarvoksi tiemerkintämassoilla noin 19 tai noin 92 kg ajoratakilometriä kohti ja maaleille noin 13 kg ajoratakilometriä kohti. Määrät kuvaavat tiemerkintäaineita mikromuovien mahdollisena päästölähteenä, eivät siis suoraan ympäristöön kulkeutuvan mikromuovin määrää.

*Taulukko 7. Mikromuovimäärät vuositason 2018 tehtyjen ylläpitotiemerkintöjen määrästä laskettuna siten, että tiemerkintämassan hartseja ei ole laskettu mikromuoveiksi.*

Tiemerkintätoimet maanteilla 2018	päästöt (t mikromuovi)	päästöt (Kg mikromuovi/ajr-km)
Pitussuuntaiset massamerkinnot ylläpidettävät kohteet	270	19
Pitussuuntaiset maalimerkinnot ylläpidettävät kohteet	320	13
<b>Yhteensä</b>	<b>590</b>	<b>15</b>

*Taulukko 8. Mikromuovimäärät vuositason 2018 tehtyjen ylläpitotiemerkintöjen määrästä laskettuna siten, että tiemerkintämassan hartseja pidetään potentiaalisina mikromuoveina.*

Tiemerkintätoimet maanteilla 2018	päästöt (t mikromuovi)	päästöt (Kg mikromuovi/ajr-km)
Pitussuuntaiset massamerkinnot ylläpidettävät kohteet	1300	92
Pitussuuntaiset maalimerkinnot ylläpidettävät kohteet	320	13
<b>Yhteensä</b>	<b>1620</b>	<b>42</b>

Norjassa on tehty myös tutkimusta mikromuovien määrästä tiemerkinnöissä. Selvityksen perusteella Norjassa syntyy vuosittain tiemerkinnöistä 90–320 tonnia mikromuovia (Norwegian Institute for Water Research, NIVA, 2018). Selvityksen laskennat on tehty kuitenkin yli puolet pienemmällä polymeerimäärillä kuin tämän työn laskelmat. Norjalaisten laskennoissa ei ole otettu huomioon myöskään ollenkaan hartseja. Hartsien pois jättämisellä on merkittävä vaikutus kokonaismikromuovimääriin. Jos Suomen mikromuovilaskennoissa käytetään Norjan selvityksen lähtötietoja, arvioidaan mikromuoveja syntyvän Suomessa vuosittain maali- ja massatieverkon tiemerkintöjen ylläpidossa yhteensä noin 300 tonnia. Lähtötiedoissa on silti vielä epävarmuutta, joten laskeman tulokset eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia.

## 4 Johtopäätökset

### 4.1 CO<sub>2</sub>-päästömuuttujat

Täysin luotettavien arvojen saaminen osoittautui vaikeaksi, koska moni laskentatieto jäi epävarmaksi, etenkin raaka-aineiden lähtötietojen osalta. Kuitenkin CO<sub>2</sub><sub>ekv</sub>-päästöjen suuruusluokka tiemerkintäprosessin eri vaiheissa saatiin selvitettyksi.

Tämän työn tulosten perusteella päästöt jakautuvat laskennallisesti tasan eri tieluokkien kilometrien kesken, vaikka todellisuudessa tiedetään, että erot ovat merkittäviä riippuen tien luokasta.

Materiaaleilla on selkein vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin, niiden osuus päästöistä on 81 prosenttia.

Raaka-aineiden kuljetukset (A2) laskettiin ulkomaalaisten raaka-aineiden osalta vain Suomen rajojen sisäpuolella. Tiemerkintämassan valmistaminen sideaineella, jolla on korkea hiilidioksidin talteenottopotentiali (biopohjaiset sideaineet), saavutetaan selkeästi pienemmät päästöt tiemerkintätöissä. Tiemerkintämassan valmistuksessa raaka-aineiden kuljetus tehtaalle (A2) ja sekoitustyö (A3) tuottavat CO<sub>2</sub>-päästöjä noin 8 kg merkitämassatonna kohden, joten selkein päästölähde tiemerkinnässä on tiemerkintämateriaalien raaka-aineet.

Kaikki määrätiedot ovat työkauden 2018 tuloksia. Massamerkintää käytetään vilkkaimmilla tieosuuksilla ja maalimerkintöjä hiljaisemmilla kohteilla. Jotta tiemerkintämassalla tai tiemerkintämaalilla tehtyjä ja ylläpidettyjä kohteita voitaisiin verrata keskenään pitäisi tutkia koko päällysteen elinkaaren aikaiset päästöt ja verrata niitä ajoneuvomäärään, jotta saataisiin päästöt mg/ajoneuvokilometri.

Jatkossa on mahdollista seurata tarkemmin päästöjen syntymistä tiemerkintätöissä eri tieluokan tiestöllä ja tarkentaa laskelmia esimerkiksi päästökertoimen tarkentuessa eri tiestöluokilla. Samoin erilaisten tiemerkintöjen päästöt pitäisi tutkia asfaltin elinajalta ja huomioida myös purkuvaiheen päästöt (Cruz et. al. 2016).

Kun tiemerkintätöistä aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä verrataan laajemmin, ovat tiemerkintätöistä aiheutuvat päästömäärät suhteellisen alhaisia. Tiemerkintätöiden vuosittaiset päästömäärät ovat karkeiden arvioiden perusteella korkeintaan viidesosan päällystysurakoissa syntyneistä vuosipäästöistä.

### 4.2 Mikromuovit

Tässä selvityksessä keskityttiin pelkästään maanteihin, joista mikromuovien kulkeutuminen mereen on todennäköisesti pienempää kuin kaupunkien ja taajamien katuverkolta, maanteiden hulevesien imeytyessä luultavimmin suurimmaksi osaksi maaperään.

---

Maalit ja massat muodostavat yhteensä noin 590 tai noin 1 620 tonnin potentiaalisen mikromuovien päästölähteen Suomen ylläpidetyillä maanteilla vuositasolla. Tämä on keskimäärin ajoratakilometriä kohden noin 15 tai noin 42 kg vuositasolla. Huomioitavaa on kuitenkin, että tiemerkinnoista muodostuvan potentiaalisen mikromuovin määrästä on maailmallakin erilaisia käsityksiä, joten yksittäisissä tuloksissa voi olla paljon vaihtelua.

Myös mikromuovit tulisi laskea eri tieluokan teille erilaisen kulumisen takia ja selvittää, saataisiinko määritettyä muissa tutkimuksissa käytetty arvo mg/ajoneuvokilometri (CEDR tehdyt tutkimukset 2018).

## 5 Esitykset päästöjen vähentämiseksi ja jatkotoimenpiteiksi

Seuraavissa kohdissa on kirjattu projektin totutuksen yhteydessä esiin nousseita esityksiä päästöjen vähentämiseksi, joiden jalkauttamista käytäntöön tulee vielä tarkemmin pohtia ja suunnitella jatkossa erikseen tapauskohtaisesti.

### 5.1 Päästövähennystavoitteiden määrittely ja hankintojen kehittäminen

Asetettavista tavoitteista tulee käydä keskustelua yhdessä alan toimijoiden kanssa.

Asetetaan selkeät pitkän tähtäimen tavoitteet tiemerkinän CO<sub>2</sub>-päästöjen ja mikromuovien vähentämiseksi, jotta materiaalitoimittajat ja urakoitsijat pystyvät ajoissa reagoimaan tulevaisuuden vaatimuksiin.

Päästöihin vaikuttavien tekijöiden, kuten raaka-aineiden ja materiaalien valmistamisen tai niiden kuljetuksista ja tiemerkinätoimittajien aiheutuvien päästöjen, pienentämisen osalta hankintoihin rakennetaan kannustinjärjestelmiä hankintasopimuksiin. Muutoksista tehdään vähitellen, ennalta sovitun aikataulun mukaisesti, vähimmäisvaatimuksia tiemerkinätoimittajissa.

Hankintoihin asetetaan vaatimuksiksi esimerkiksi tiemerkinämateriaalien GWP-arvot ja myöhemmin vaatimuksiin lisätään tuotteiden ympäristötuoteilmoituksen (EDP) toimittaminen. EDP-vaatimus lisätään alkuvaiheessa tuotteille, myöhemmin EDP-ilmoitus vaaditaan myös toimintatasolla.

Tiemerkinämassojen ja -maalien raaka-aineilla on iso osuus tiemerkinän päästövolyyymista, joten raaka-ainetoimittajat tulee sitouttaa yhteistyöhön selvittämään tuotteidensa CO<sub>2</sub>-päästöjä ja kehittämään tuotteitaan vähäpäästöisemmiksi sekä etsimään vaihtoehtoisia raaka-aineita, kuten esimerkiksi biopohjaiset hartsit, joilla on negatiivinen hiilijalanjälki (mutta ovat hieman kalliimpia käyttää).

Kehitetään hankintoja siten, että tiemerkinämateriaaleista saadaan nykyistä tarkempaa tietoa käytettävistä raaka-aineista, jolloin päästömääriä pystytään tulevaisuudessa laskemaan ja vertaamaan paremmin.

### 5.2 Tienpidon kehittäminen

Etumerkinätoimittajissa voisi käyttää vesipohjaista maalia liuotinpohjaisen sijaan.

Tiemerkinätoimittajien kulutuskestävyyden kasvattaminen. Tämä saattaa aiheuttaa paluuehjästävyyden laskua, jos sekoitehelmet eivät kulu esiin tiemerkinämateriaalista.

Tiemerkinätoimittajien tehdään uudelle päällysteelle riittävän paksuna, jotta merkinän ylläpitotarve elinkaaren alussa vähenee.

Tiementarkintöjen upottamisen (siniaalto) vaikutusta kulumisen hidastumiseen ja sitä kautta CO<sub>2</sub>- ja mikromuovipäästöjen vähenemiseen tulisi tutkia tarkemmin.

Tiementarkintöjen poistot vesipiikkaamalla kylmäjyrsinnän sijaan, jolloin poistotyöhön vaadittava kalustomäärä vähenee.

Eri tieluokkien laatuvaatimusten kriittinen tarkastelu. Kun tarkastellaan tiedossa olevia pigmentin ja lasihelmien CO<sub>2</sub>-päästöarvoja herää kysymys, onko pääpaino liikaa valkoisuudessa ja paluuheijastavuudessa, varsinkin kaikilla tieluokilla. Tiementarkintöjen laatuvaatimusten (erityisesti paluuheijastavuus) luokittelu eri tieluokille.

Lisäselvitykset ja avoin keskustelu siitä, missä menee ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden (paluuheijastavuus ja valkoisuus) sekä ympäristöystävällisyyden ja merkintäkustannusten (biopohjaiset raaka-aineet, kulutusta paremmin kestävät merkinnät yms.) väliset rajat, on tarpeen.

Tiementarkintöjen laatuvaatimusten painottaminen enemmän kuntoarvoihin, kuin paluuheijastavuuteen. Vaikka merkintöjen paluuheijastavuus heikkenisi, parani merkintöjen kestävyys, jolloin päästötkin vähenisivät.

## 5.3 Kuljetus- ja konekalustoa koskevien vaatimusten kehittäminen

Raaka-aineiden kuljetusten sekä työkonien päästöjen rajoittaminen. Biodieselin käyttö pudottaisi suoraan CO<sub>2</sub>-päästöjä, mutta sen käyttö on tällä hetkellä hieman normaalia dieseliä arvokkaampaa. Jatketaan alan yleistä keskustelua asiasta.

EURO- ja Stage-luokitusten nostaminen tiementarkintätoissa käytettävälle kalustolle, jolloin työ muuttuu ympäristöystävällisemmäksi polttoainepäästöjen puhdistumisen ja pienemmän kulutuksen johdosta.

Uuden tiementarkintäkaluston käyttöä tulisi suosia, sillä tällöin samalla kalustolla voidaan tehdä uudelleenpäälystyskohteiden ja ylläpidon tiementarkintöjä, jolloin kalustolla edestakaisin ajaminen vähenee. Pienmerkintöjen koneellista toteutusta tulisi suosia, jolloin kalustomäärä kohteilla vähenee.

Tiementarkintämassan lämmityskattiloiden parempi eristäminen, esimerkiksi kannen tiivistys.

## 5.4 Muita tutkimus- ja selvitystarpeita

Raaka-aineiden kuljettaminen tehtaille tulisi seuraavissa tarkasteluissa määrittää raaka-aineen tuottajalta lähtien, ei vain Suomen satamista.

Tulisi selvittää päästöttömin tapa tehdä tiementarkinnat eri tieluokan teille koko päälysteen linkaaren ajalta, kuitenkin siten että tiementarkinnat palvelevat tienkäyttäjien turvallisuutta ja tukevat uusien autojen tiementarkintöihin tukeutuvaa tekniikkaa. Tiementarkintöjen erilaisten ylläpitotapojen vaikutusta tiementarkinnän



elinkaareen ja sitä kautta vuosittaisiin CO<sub>2</sub>-päästöihin eri tieluokilla tulisi selvittää tarkemmin.

Asfalttien uudelleenkäyttö kuumentamalla polttaa tiemerkintöjä, joka aiheuttaa CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tulisi selvittää, kumpi aiheuttaa enemmän CO<sub>2</sub>-päästöjä: merkin-  
töjen poisjyrsintä ennen uudelleenkäyttöä vai tiemerkintöjen palaminen.

Selvitys tiemerkintöjen pesemisen vaikutuksesta suhteessa ylläpitotoimenpide-  
tarpeisiin ja eri toimenpiteiden päästömuuttujat.

Tarkempi selvitys tiemerkintätyövaiheiden (mm. etumerkintä, jysintä, linjamer-  
kintä, pienmerkintä, ylläpito, paluuheijastavuusmittaus) päästöistä eri tie-  
luokilla.

Selvitys mikromuovien kulkeutumisesta hulevesien mukana vesistöihin, koskien  
etenkin taajamia ja katuverkkoa.

## Lähteet

- Boucher, Friot, 2017, Primary Microplastics in the Oceans (www.iucn.org)  
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002.pdf>
- Brander, Davis 2012. Ecometrica, Greenhouse Gases s. 2  
<https://ecometrica.com/assets/GHG-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>
- Cashman, Moran, Gaglione 2015 Journal of Industrial Ecology Volume 20, Issue 5 (Figure 3) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12370>
- CEDR kotisivut, 2019, <https://www.microproof-cedr.nl/index.php>
- CEDR tehdyt tutkimukset, 2018, raportit <https://www.microproof-cedr.nl/deliverables.php>
- Cruz, Klein, Steiner, 2016 Sustainability Assessment of Road Marking Systems  
[https://www.researchgate.net/publication/304530331\\_Sustainability\\_Assessment\\_of\\_Road\\_Marking\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/304530331_Sustainability_Assessment_of_Road_Marking_Systems)
- ECHA, 2019 Euroopan kemikaalivirasto  
<https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/microplastics>  
<https://echa.europa.eu/fi/-/stakeholder-workshop-on-microplastic-particles>
- Energiateollisuus Ry, 2019, Energiavuosi 2018 [https://energia.fi/ajankoh-taista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2018\\_-\\_sahko.html](https://energia.fi/ajankoh-taista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_sahko.html)
- Eurooppalainen muovistrategia, 2015  
[https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm)
- FEVE, 2010, The European Container Glas Federation <https://feve.org/wp-content/uploads/2016/04/FEVE-brochure-Recycling-Why-glass-always-has-a-happy-CO2-ending-.pdf> (sivu 4)
- Hartikainen, 2018, Mikromuovitutkimus Suomen vesistöissä [https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/4\\_mikromuovit\\_tivistelma\\_samuel\\_hartikainen\\_uef\\_07022018.pdf](https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/4_mikromuovit_tivistelma_samuel_hartikainen_uef_07022018.pdf)
- Jannö, 2016, Goteborgs Universitet selvitys mikromuoveista.  
[https://bioenv.gu.se/digitalAssets/1583/1583552\\_alicia-jann--.pdf](https://bioenv.gu.se/digitalAssets/1583/1583552_alicia-jann--.pdf)
- Kittipongvises, 2017, Environmental Research Institute <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/rtuect.2017.20.issue-1/rtuect-2017-0011/rtuect-2017-0011.xml>
- Lipasto, 2017, <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/>
- Merenheimo, Österlund, Bergman, 2018: Ympäristönäkökohtien huomioiminen päällystehankintojen kehittämisessä. Liikennevirasto, kunnossapito. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 61/2018.  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2018-61\\_ymparistonakokohtien\\_huomioiminen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-61_ymparistonakokohtien_huomioiminen_web.pdf)
- Muoviteollisuus RY (2019) <https://www.plastics.fi/fin>

Norwegian Institute for Water Research (NIVA) 2018, Christian Vogelsang, Amy L. Lusher, Mona E. Dadkhah, Ingrid Sundvor, Muhammad Umar, Sissel B. Rannekleiv, David Eidsvoll and Sondre Meland, Microplastics in road dust – characteristics, pathways and measures:

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M959/M959.pdf>

Pasanen, Miilumäki, 2017: Energiankulutusta ja kasvihuonepäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa-esiselvitys laskentamenetelmistä. Liikennevirasto, kunnossapito-osasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2017.

[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2017-43\\_energiankulutusta\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-43_energiankulutusta_web.pdf)

Rakennustieto, 2019, RTS EPD -Ympäristöselosteet

<https://epd.rts.fi/etsi-ymparistoselosteita?page=2>

SFS-EN 15804 + A1:2014 Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Sustainability of construction works. Environmental product declaration. Core rules for the product category of construction products 95 s.

SFS-EN 15978:2012 Sustainability of constructions works. Assessment on environmental performance of buildings. Calculation method.

Skandinaviska Vägmarkeringsföreningen (SVMF) höstmöte, 2019

[http://www.svmf.nu/files/2715/7406/6174/Foredrag\\_vattenburen\\_farg\\_-\\_mikroplast\\_.pdf](http://www.svmf.nu/files/2715/7406/6174/Foredrag_vattenburen_farg_-_mikroplast_.pdf)

TDMA members , 2013, The Titanium Dioxide Manufacturers Association (TDMA)

<https://tdma.info/wp-content/uploads/2017/09/The-carbon-footprint-of-titanium-dioxide.pdf>

Usbeck, Pflieger, Sun, 2010 Life Cycle Assessment of Float Glass.

<https://www.agc-yourglass.com/agc-glass-europe/au/de/pdf/lca/LCA.pdf> (sivu 11)

Vink, Davis, 2015, INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY (sivu 176 fig 12)

[http://www.natureworksllc.com/~media/The\\_Ingeo\\_Journey/EcoProfile\\_LCA/EcoProfile/NTR\\_Eco\\_Profile\\_Industrial\\_Biotechnology\\_0614\\_.pdf.pdf](http://www.natureworksllc.com/~media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/EcoProfile/NTR_Eco_Profile_Industrial_Biotechnology_0614_.pdf.pdf)

Ympäristöministeriön raportteja 21/2017 s. 11, 28

[http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra\\_21\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80703/YMra_21_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Hyvä tiemerkitämateriaalin valmistaja**

1. Pyytäisittekö raaka-ainetoimittajaltanne raaka-aineen GWP eli kgCO<sub>2</sub>ekv./tonni raaka-ainetta **A1**
2. Miten pitkä matka raaka-aineella on tehtaallenne (ulkom. satamasta Suomeen) **A2**
  - a. Hartsi
  - b. Polymeerit (SIS, PE, EVA, PA)
  - c. TiO<sub>2</sub>
  - d. täyteaineet
  - e. lasihelmi
3. Paljonko energiaa kuluu (KWh) yhden tonnin valmistamiseen **A3**
4. Synteettisen ja luonnon hartsin suhde
5. Onko esittämäni resepti +/- 2 % yksikön sisällä omastanne

Urakointi / palvelu vuodessa Vuosi 2018										
	Materiaalikulutus (kg/l)	sirotteluhelmet kg	ajot kaikkiaan (Km)	Kulutus (l)	Työn pituus (km <sup>21</sup> )	Kulutus (l)	Polttoaine	Rahdit Kg	Rahdit (Km <sup>21</sup> )	Kommentteja
1 Yhteensä Massa ELY-kohteet										
2 Yhteensä Maali ELY										
3 Valtio Massa mustat + inv. Yhteensä <sup>3)</sup>										
4 Valtio Maali mustat + inv.										
5 Valtio Massa YP										
6 Valtio Maali YP										
7 Etumerkinnät Yhteensä										
8 Pienmerkinnät										
9 Jyrsinnät yhteensä										
10 Iiuostus										
	<sup>1)</sup> = 1 km reunaviivaa = 1 km, 1 km ylläpitoa reunaviivalla= 1 km, 1 km on kaikki keskiviivat kilsan matkalla (Eli jos molemmat reunaviivat ja keskari on ylläpidetty ajoa 3 km)									
	<sup>2)</sup> = Km vain rahdin kanssa. Ei ole tietoa onko paluumatkalle joku toinen keikka.									
	<sup>3)</sup> = Investointikohteet tai muut kuin TMPS-kautta tehtävät									
	Rivi 1 = Rivi 3 + Rivi 5	R2 = 4+6								

## Työn laskennassa sovittuja rajoituksia

- Laskennan kohteeksi otettiin vuosi 2018.
- Tiemerikintämassojen raaka-aineille etsittyjä ja laskennassa käytettäväksi sovittuja arvoja:

Raaka-aine	kgCO <sub>2</sub> ekv/t	Arvio/tieto ja lähde
C5 hiilivetyharts	3500	arvio (Cashman et. al. 2015)
Luonnon harts (RE)	-1395	Kraton Chemical B.V.
Polymeerit (SIS, PE, EVA, PA)	3000	arvio (Vink & Davis 2015)
TiO <sub>2</sub>	5300	tieto (TDMA members 2013)
CaCO <sub>3</sub>	3	Arvio (Kittipongvises 2017)
Kvartsi	25	Sibelco Nordic Oy Ab
Lasihelmi	700	arvio (Usbeck et. al. 2010), (FEVE 2010)

- Ulkomaalaisten raaka-aineiden toimitus tehtaalle lasketaan Suomen sata-masta tehtaalle.
- Raaka-ainerahdeille ei lasketa paluuta, koska ei ole tietoa mahdollisista pa-luukuljetuksista.
- Rahdit tehtaalle on laskettu CO<sub>2</sub>ekv arvoilla 30 (45t) tai 38 (25t) g/tkm (Lipasto 2017)
- Sähkön päästöt tiemerikintämassan valmistuksessa 105 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Ener-giateollisuus Ry 2019).
- A3 Laskelmassa ei laskettu lämmityskustannuksia, vaan ainoastaan sekoi-tuskulut.
- Ulkopuoliset rahdit tehtaalta kohteille on laskettu CO<sub>2</sub>ekv arvolla 38 g/tkm<sup>24)</sup>, mutta paluumatkoja ei ole laskettu (Lipasto 2017).
- Urakoitsijoiden kaluston kulutustiedoissa päästötietona on käytetty 2,66 kg/l dieseliä (Lipasto 2017)
- Tiemerikintämassan arvona on pidetty laskentaa 100 % luonnonharts (n. 410 kg CO<sub>2</sub>ekv /t) ja 100 % C5 hiilivetyharts (n. 1150 kg CO<sub>2</sub>ekv /t). Suomes-sa 2018 käytettävien massojen RE/C5-hartsien suhteet saatiin valmistajilta ja työssä sovittiin ulkoa tuotavien massojen RE/C5 suhteeksi 60/40. Tie-merkintäurakoitsijoiden ilmoittamien massojen valmistajien ja määrien pohjalta laskettiin painotettu keskiarvo Suomessa 2018 käytetyille tiemer-kintämassoille (610 kg CO<sub>2</sub>ekv /tonni merkintämassaa). Kotimaisten valmis-tajien laskemissa laskettiin myös eri lasihelmipitoisuuksien vaikutus pääs-töihin.
- Merkintämaalin arvona on käytetty Teknoksen ulkomaalien EPD GWP 2,1 kg CO<sub>2</sub>ekv/l (Rakennustieto 2019)
- Liuostuksen materiaaliarvona käytettiin 0,15 kg/CO<sub>2</sub>ekv/kg tuotetta (EKA-laskentaohjelmasta)
- Etumerkintöjen materiaaliarvot laskettu käyttäen samoja vesiliukoisen maalin arvoja kuin itse maalaustyössäkin, vaikka etumerkinnässä käytettä-vät maalit ovat pääsääntöisesti liuotinpohjaisia.

- 
- Tiemerkintämateriaalien hienontuessa syntyneet mikromuovimäärät on laskettu 2018 ylläpitoon käytetyistä materiaaleista, sillä prosentilla, joka tiemerkintämateriaali reseptissä on potentiaalista mikromuovia. Kilometri-määrät on laskettu sopimusten ylläpitokilometreistä. Tuotteet, mitkä luetaan mikromuoviksi ei ole ihan tarkasti selvillä alan tutkijoidenkaan mielestä.

Göteborgin tutkimuksessa mikromuoveiksi katsottiin vain (PE, EVA) 0,5-2 painoprosenttia (Jannö 2016). Tässä tutkimuksessa mukaan laskettiin myös PE ja EVA lisäksi SIS, jolloin laskennassa käytettiin mikromuovipotentiaalia 4 painoprosenttia tiemerkintämassasta. Mikäli mukaan otetaan vielä hartsit edellisten lisäksi, niin laskennassa käytettiin 19 painoprosenttia. Maaleissa laskettiin si-deaainehartsit potentiaalisiksi mikromuoveiksi, jolloin laskennassa käytettiin 18 painoprosenttia.



ISSN 2490-0745  
ISBN 978-952-317-767-3  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)